

一般財団法人 関西空港調査会
2022年度 調査研究助成事業

Wi-Fiパケットセンサを用いた 関西広域流動解析手法の研究

成果報告書

2023年 3月

東海国立大学機構名古屋大学

中村 俊之

目次

1	調査研究の概要.....	1
1.1	研究の目的	1
1.1.1	研究目的.....	1
1.1.2	研究の意義	1
1.1.3	期待される効果	1
1.2	調査研究の構成	1
1.3	研究工程	2
1.4	Wi-Fi パケットセンサの概要.....	2
2	関西三空港の既存センサ運用継続と追加設置.....	4
2.1	既設センサの運用継続.....	4
2.2	センサの追加設置.....	6
2.2.1	伊丹空港 2F JAL 出発ロビー	7
2.2.2	伊丹空港 2F ANA 出発ロビー.....	8
2.2.3	関西国際空港 4F 国際線出発ロビー.....	9
2.2.4	関西国際空港 1F 国際線到着ロビー	10
2.2.5	神戸空港 2F 出発ロビー	11
3	関西広域流動解析基盤との連携	12
3.1	広域流動解析の必要性と課題	12
3.2	関西広域流動解析コンソーシアムの概要	12
3.2.1	目的.....	13
3.2.2	事業.....	13
3.2.3	会員・役員	13
3.2.4	連携するセンサ	14
3.3	広域流動解析のためのシステム連携.....	15
4	関西三空港とターミナル間の流動分析	16
4.1	観測数推移	16
4.2	地点間流動量の変化	16
5	空港運営事業者への分析結果の還元	19
5.1	センサ稼働状況.....	20
5.2	取得数推移	20
5.3	OD 表.....	21
5.4	弦グラフ	22
5.5	設置地点別の滞在時間	23
5.6	設置地点別の前後地点間流動（日次）	24
5.7	訪問者数・住人数.....	25
5.8	地点間所要時間	26
5.9	地点間所要時間（日次・表形式・10%の平均）.....	27
6	運用継続の検討.....	28
6.1	運用継続における計測主体(法的対応)	28
6.2	運用継続に必要な費用	29

6.2.1	三空港設置センサの年間維持費の試算	29
6.2.2	運用継続のための事業モデル.....	29
7	空港運営事業者へのヒアリング	30
7.1	新関西国際空港(株)へのヒアリング	30
7.2	関西エアポート(株)へのヒアリング	30
7.2.1	関西国際空港でのヒアリング	30
7.2.2	大阪国際空港でのヒアリング	30
8	おわりに.....	32
8.1	まとめと課題.....	32
8.2	広域流動解析の持続的発展への期待と取り組み.....	32

1 調査研究の概要

1.1 研究の目的

1.1.1 研究目的

2021年度調査研究の成果等を通して、関西圏における広域流動解析を実現するためのコンソーシアムが設立された。この組織には関西圏で Wi-Fi パケットセンサによる計測を行っている自治体、鉄道事業者、大学等の 10 組織が参加し、空港と主要ターミナル間の交通流動を計測する広域センサーネットワークが実現した。本研究では 2021 年度調査研究において関西三空港に設置されたセンサに加え、新たに 5 地点の増設した合計 9 地点のセンサを継続運用し、コンソーシアムと連携して関西エリアの交通拠点間のリアルタイム広域流動分析およびモニタリングを実現することを目的とする。

1.1.2 研究の意義

Covid-19 の脅威が継続し、空港旅客の激減が続く中、ポストコロナ社会やスーパーメガリージョン構想等を見据え、需要変化に対する機動性・即応性の高い輸送サービスの実現が望まれる。このためには関西圏の交通を支える関係機関と連携した継続的な調査研究が必要である。

1.1.3 期待される効果

- ① コロナ回復期における旅客流動（OD パターン、時間・期間変動、所要時間等）変化の把握
- ② 関西万博に向けた旅客流動のリアルタイム計測のための交通観測インフラ整備
- ③ 関西三空港の旅客流動と主要ターミナル間の交通流動に基づく効率的な交通計画の検討

1.2 調査研究の構成

本調査研究は、次の 7 つの項目で構成する。

表 1-1 調査研究の 7 つのフェーズ

① 関西三空港の既設センサ運用継続・増設	2021 年度調査研究により、関西三空港に設置したセンサの運用を継続するため、空港運営事業者への説明を行い、運用継続のためにセンサの維持管理等を継続する。また 5 台のセンサを追加設置する。
② 関西広域流動解析基盤との連携	関西広域流動解析コンソーシアムにおいて実現を目指す「関西広域流動解析基盤」に①のセンサから得られるデータを提供し、関西エリア全域における交通流動の解析を実現する。
③ 関西三空港とターミナル間の流動分析	②の関西広域流動解析基盤の解析結果を活用して、関西三空港と関西の主要ターミナル間の交通流動分析を実施する。コロナが終息した場合は、コロナ収束前後の流動変化の分析を行う。
④ 空港運営事業者への分析結果の還元	③の分析結果を空港運営事業者に提供する。このデータ提供は報告書等の形式ではなく、リアルタイムに各空港の流動状況を可視化する WEB ダッシュボードを通して実施する。

⑤ 運用継続の検討	三空港に設置したセンサの有用性が確認できた場合、センサの将来的な運用継続のための費用負担の方法等を検討し、運用継続を実現する事業モデルの検討を行う。
⑥ 空港運営事業者へのヒアリング	④、⑤の検討結果に基づき、関西三空港の運営事業者に対するヒアリング調査を実施し、より効果のある情報提供方法、事業継続の可能性等の検討を行う。
⑦ とりまとめ	上記①～⑥の結果をとりまとめ、報告書を作成する。

1.3 研究工程

各調査フェーズは、次の工程で進めた。

表 1-2 各フェーズにおける工程スケジュール

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
① センサ運用継続	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
② 流動解析基盤との連携	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
③ 流動分析			●	●	●							
④ 分析結果の還元						●	●	●				
⑤ 運用継続の検討								●	●	●		
⑥ 事業者ヒアリング											●	●
⑦ とりまとめ												●

1.4 Wi-Fi パケットセンサの概要

本研究で使用する Wi-Fi パケットセンサは、Wi-Fi 接続機能を ON にしているスマートフォンやゲーム機（機器）が発している電波（パケット）を受信し、人や自動車の流動解析を行うシステムである。パケットに含まれる MAC アドレス、取得時刻、取得位置を突合解析することで、多様な交通流動解析を行うことができる。パケットに含まれる機器固有の情報は、それ単独では個人の特特定を行うことはできない。しかし、狙った個人を追跡して MAC アドレスを取得する等、悪意を持って個人情報との紐付けが行われた場合には、個人の行動追跡が可能となる。そこで取得した MAC アドレスをセンサ内で一方向ハッシュ関数により変換し、匿名化を行った上で分析処理を行う。表 1-3 と図 1-1 にはセンサの仕様と形状を図示している。キャプチャされたパケットはセンサ内で匿名化され、3G/4G 携帯電話回線によりクラウド・ストレージ・サーバにアップロードされ解析される仕組みである。

既に国内外で延べ数百台の設置実績を有し、低コストで実施できる交通観測調査手法として多くの計測事例が蓄積されてきている。一般道路や高速道路における自動車交通の流動解析や渋滞

検知を目的とするもの、都市圏レベルでの広域的な交通流動の観測や来訪者が集中する商業施設・観光施設での流動観測など、その用途は幅広い。しかし、この利用拡大にあたっては、匿名化や暗号化といった技術的な対策はもちろんのこと、プライバシー保護に関する法制度への対応や、利用目的の開示、取得データの利用制限など、社会倫理上の問題がない形で調査を実施する必要がある。

表 1-3 Wi-Fi パケットセンサの仕様

収納物	データ処理用プロセッサ、携帯電話回線通信端末、アンテナ
筐体	防水・防塵 ABS ボックス
色	ホワイトグレー
サイズ	160mm * 160mm * 95mm
電源	AC100~240V 7W
消費電力	消費電力 約 5W

図 1-1 Wi-Fi パケットセンサの形状



2 関西三空港の既存センサ運用継続と追加設置

2021 年度調査研究により、関西三空港に設置したセンサの運用を継続するため、空港運営事業者への説明を行い、運用継続のためにセンサの維持管理を行う。また、新たに 5 台のセンサを追加設置した。

2.1 既設センサの運用継続

関西国際空港には 2021 年度調査研究により①2F 国内線ロビー関西空港駅 ②関西空港駅 の 2 カ所にセンサを設置した。

既設センサについては、本調査研究期間中に稼働状況を常時モニタリングし、遠隔監視を行った。下図はセンサの遠隔モニタリングを行う画面である。センサに異常が発生しデータの取得が停止すると、Status が赤に変化する。5 番から 9 番までのセンサが 2022 年度助成研究にて追加したセンサとなっている。なお、1 番から 4 番までのセンサは 2021 年度助成研究にて設置したものである。

関西3空港

No.	AMPID	Status	Last Signal Received	Last 15 min. UIDs	Penultimate 15 min. UIDs
1	関空駅 (KAP001)	normal	2023/04/11 19:00:46	4052	4262
2	関空2F 国内発着 (KAP002)	normal	2023/04/11 19:00:31	6802	7553
3	伊丹2F 到着 (KAP003)	normal	2023/04/11 19:00:30	5080	4225
4	神戸1F 到着 (KAP004)	normal	2023/04/11 19:00:57	549	430
5	伊丹2F JAL発 (KAP005)	normal	2023/04/11 19:00:31	22	28
6	伊丹2F ANA発 (KAP006)	normal	2023/04/11 19:00:37	3425	3930
7	関空4F 国際発 (KAP007)	normal	2023/04/11 19:00:52	9159	9835
8	関空1F 国際着 (KAP008)	normal	2023/04/11 19:00:33	15182	15231
9	神戸2F 出発 (KAP009)	normal	2023/04/11 19:00:44	3995	3960

図 2-1 設置したセンサの遠隔モニタリング画面

また、次図は関西国際空港国内線発着ロビーの計測結果を示している。年間を通して計測を行っており、2022 年 10 月よりコロナ対策の緩和を受けて、利用者が急増している様子が記録されている。2022 年 9 月 19 日は台風 14 号の影響による欠航等が発生し、利用者が減少している。このように、既設のセンサを 2021 年度から継続運用することで、コロナからの利用者増等の長期的な観測データを得ることができた。

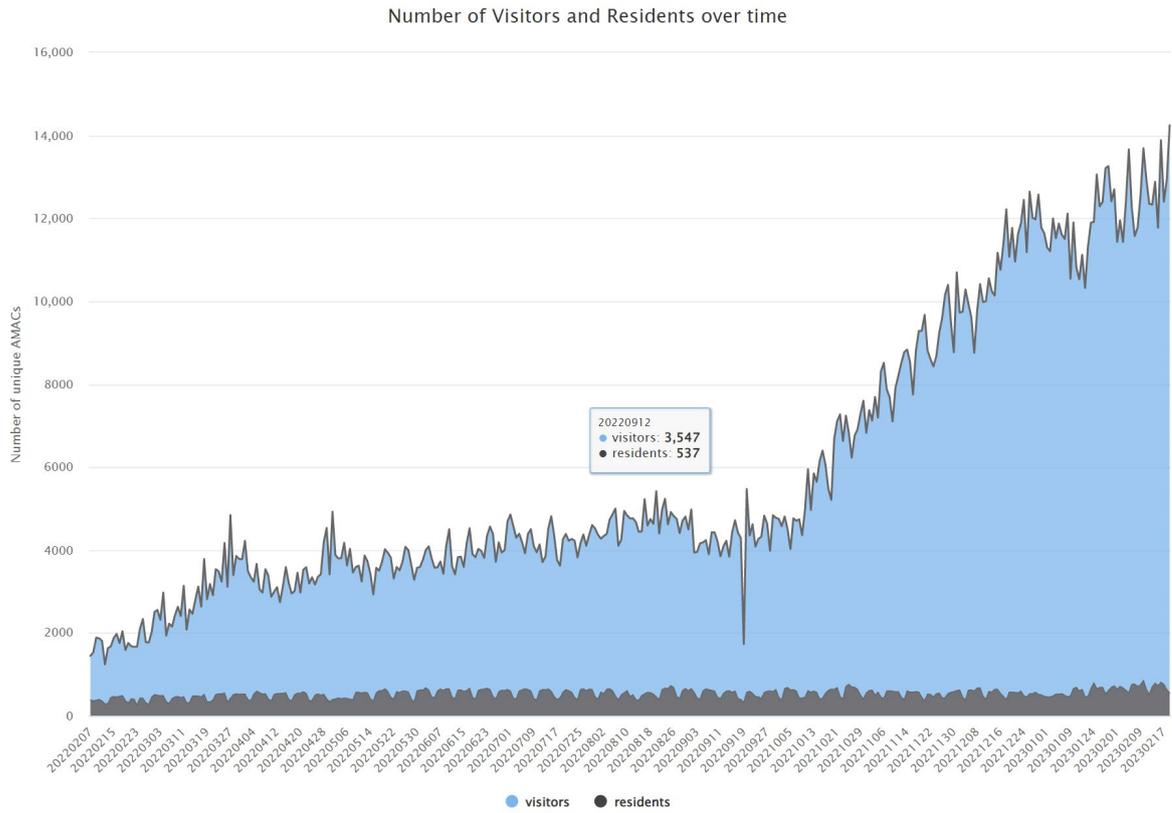
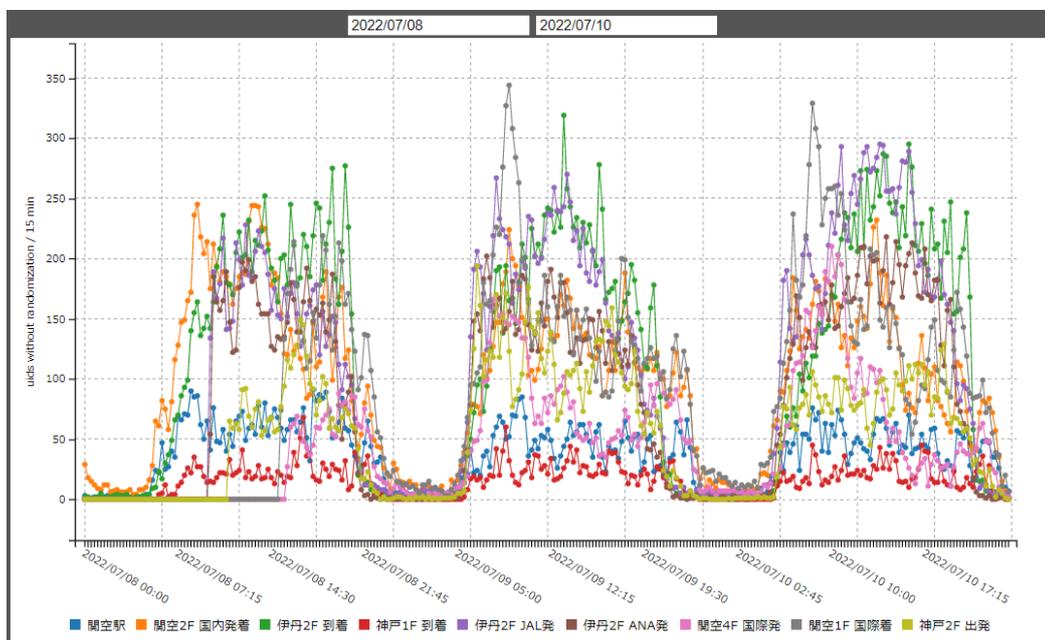


図 2-2 関西国際空港 2F 国内線発着ロビーの計測結果

2.2 センサの追加設置

2021年度調査研究では駅への動線と到着側ロビーに4つセンサを設置したが、出発側ロビーの計測ができなかった。2022年度調査研究では、各空港運営会社との協議のもと、以下に示す5つのセンサを増設した。

- ・伊丹空港 2F JAL 出発ロビー
- ・伊丹空港 2F ANA 出発ロビー
- ・関西国際空港 4F 国際線出発ロビー
- ・関西国際空港 1F 国際線到着ロビー
- ・神戸空港 2F 出発ロビー



(https://ampda1.jriss.jp/amp/kap/monitor_range.html)

項番	設置場所名称/センサーID	センサー状況
1	関空駅/001	normal
2	関空2F 国内発着/002	normal
3	伊丹2F 到着/003	normal
4	神戸1F 到着/004	normal
5	伊丹2F JAL発/005	normal
6	伊丹2F ANA発/006	normal
7	関空4F 国際発/007	normal
8	関空1F 国際着/008	normal
9	神戸2F 出発/009	normal

(<https://ampda1.jriss.jp/amp/kap/status.php>)

各センサの設置概要を以下より示す。

2.2.1 伊丹空港 2F JAL 出発ロビー

○設置日：2022年7月8日（金）9:45

○設置位置

■JAL出発ゲートフロアの 에스カレータ横のスペース



■設置前

チラシラックにラジカセが固定されており
結束バンドにて同様に固定し、電源も共有。



■設置後



2.2.2 伊丹空港 2F ANA 出発ロビー

○設置日：2022年7月8日（金）10:00

○設置位置

■ANA出発ゲートの保安検査場横



■設置前



■設置後

ガラス面に両面テープで固定



2.2.3 関西国際空港 4F 国際線出発ロビー

○設置日：2022年7月8日（金）16:00

○設置位置

■国際線出発ロビー（出発口1）



■設置前



■設置後



AED裏面に両面テープ固定。ケーブルモールで固定。ポール下部の電源利用（ゴミ箱側）。



2.2.4 関西国際空港 1F 国際線到着ロビー

○設置日：2022年11月11日（金）16:00

○設置位置

■国際線到着ロビー（北到着口前）



■設置前



■設置後



□インフォメーションボードの上に両面テープとモールで固定。ポール下部の電源使用。



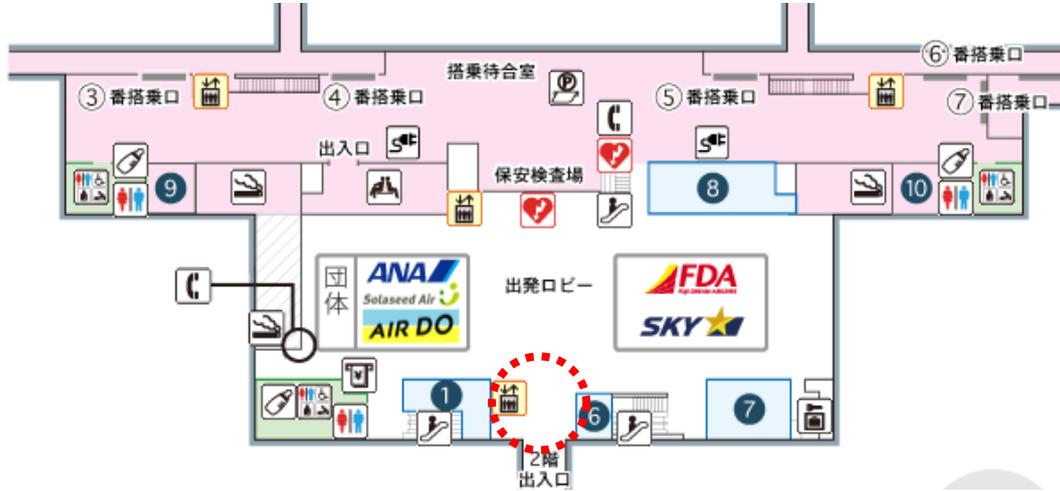
※関西国際空港1F 国際線到着ロビーのみ、11月11日に設置した理由は他のセンサ設置日の7月8日に当該ロビーでは工事を実施していたために、工事終了後の設置となった。

2.2.5 神戸空港 2F 出発ロビー

○設置日：2022年7月8日（金）11:15

○設置位置

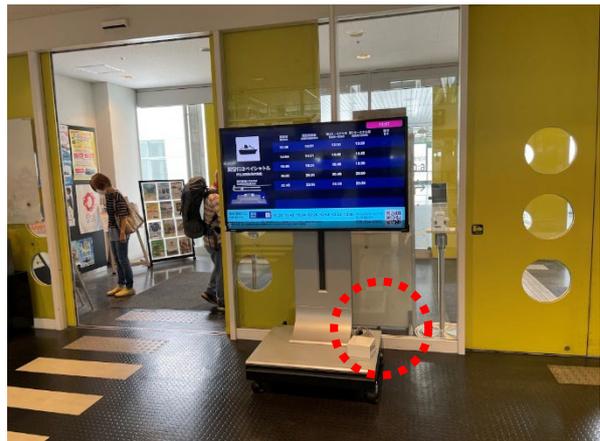
■出発ロビー・新交通側入口前のサイネージ



■設置前



■設置後



電源は背後のコンセントからディスプレイと共有。筐体の脚に結束バンドでケーブルを固定。



3 関西広域流動解析基盤との連携

3.1 広域流動解析の必要性と課題

本調査研究では昨年度と今年度にわたり、関西三空港へ計 9 つのセンサ設置を行った。この調査研究でのセンサ設置・解析の動きとは別に、関西圏では多くの交通事業者や自治体、大学等の研究機関が独自の目的で交通ターミナルや主要観光地に多数のセンサを設置している。そこでこれら複数の主体が設置しているセンサのデータを集約化し、広域的な流動を解析することができれば、さまざまな社会課題の解決に活用できる。このような認識のもとに、広域流動解析を実現するための組織が 2022 年 2 月 4 日に設立された。

しかし、広域流動解析の実現のためには法的課題、技術的課題、事業の継続を担保する事業モデルの 3 つの課題を解決する必要がある。これらの 3 つの課題への対応方策については、昨年度調査研究報告書にも記載しているが、特に収集されたデータを活用するためには個人情報保護法への対応が必要となり、データ収集と解析を行うための主体の設立が必要となった。この主体となるのが第 4 章において説明する関西広域流動解析コンソーシアムである。

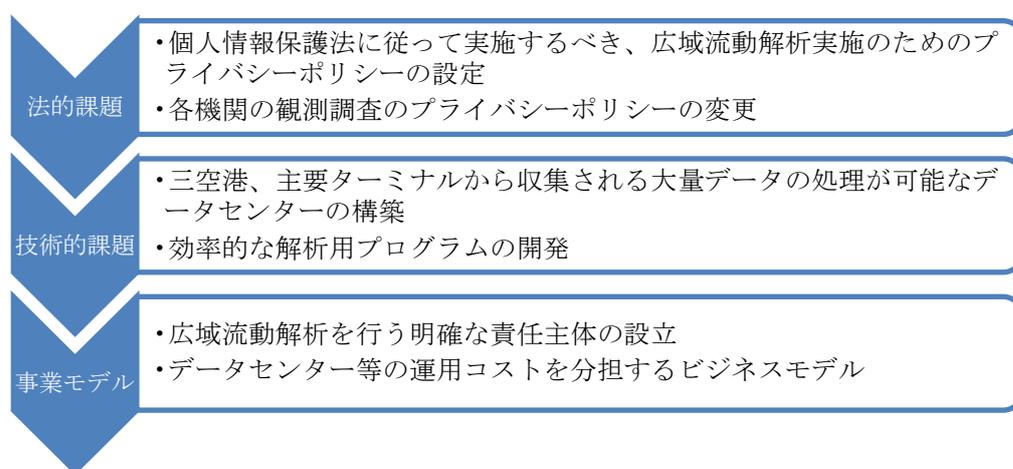


図 3-1 広域流動解析の課題

3.2 関西広域流動解析コンソーシアムの概要

独自に関西圏で Wi-Fi パケットセンサを設置・運用している団体が連携して、広域流動解析を実現するための組織、「関西広域流動解析コンソーシアム」が 2022 年 2 月 4 日に設立された。この概要を以下に示す。なお、コンソーシアムの活動内容や組織については、関西広域流動解析コンソーシアムのホームページ (<https://www.jriss.jp/kpfa-home>) に掲載されている。

3.2.1 目的

コンソーシアムの目的は、規約の第2条に次のように定められている。

第2条 コンソーシアムは、会員等が設置する Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサーから得られるデータを活用し、社会が抱える課題解決を図るため、広域的な人の動きを観測するセンサーネットワークを実現し、広域流動解析基盤の構築と運営を行うことを目的とする。

3.2.2 事業

コンソーシアムが行う事業は、規約の第3条に次のように定められている。

第3条 コンソーシアムは、次に掲げる事業を行う。

1. 関西圏における人の動きの広域流動解析を実現する「広域流動解析基盤」の構築
2. 広域流動解析基盤を活用した解析システムと、解析結果の可視化システムの構築
3. 1. 及び 2. の解析結果の活用
4. 前条の事業目的に沿った公募事業、補助事業等の申請と事業の実施
5. その他コンソーシアムの目的を達成するために必要な事業

3.2.3 会員・役員

2023年3月末日時点におけるコンソーシアムの会員、役員は次のとおりとなっている。

■会員

奈良市 総合政策部

尼崎市 総合政策局政策部都市政策課

(一社) あまがさき観光局

京都大学 経営管理大学院

京都大学大学院 工学研究科

東海国立大学機構名古屋大学 未来社会創造機構モビリティ社会研究所

東海国立大学機構岐阜大学 工学部社会基礎工学科

近鉄グループホールディングス(株)

南海電気鉄道(株)

西日本旅客鉄道(株)

阪神電気鉄道(株)

富士通特機システム(株)

(株)社会システム総合研究所

■役員

会長 京都大学経営管理大学院特任教授（京都大学名誉教授） 小林 潔司

監事 奈良市総合政策部 CIO 中村 眞

事務局長 (株)社会システム総合研究所 代表取締役 西田 純二

3.2.4 連携するセンサ

関西広域流動解析コンソーシアムが連携運用するセンサは、次の 28 基である。

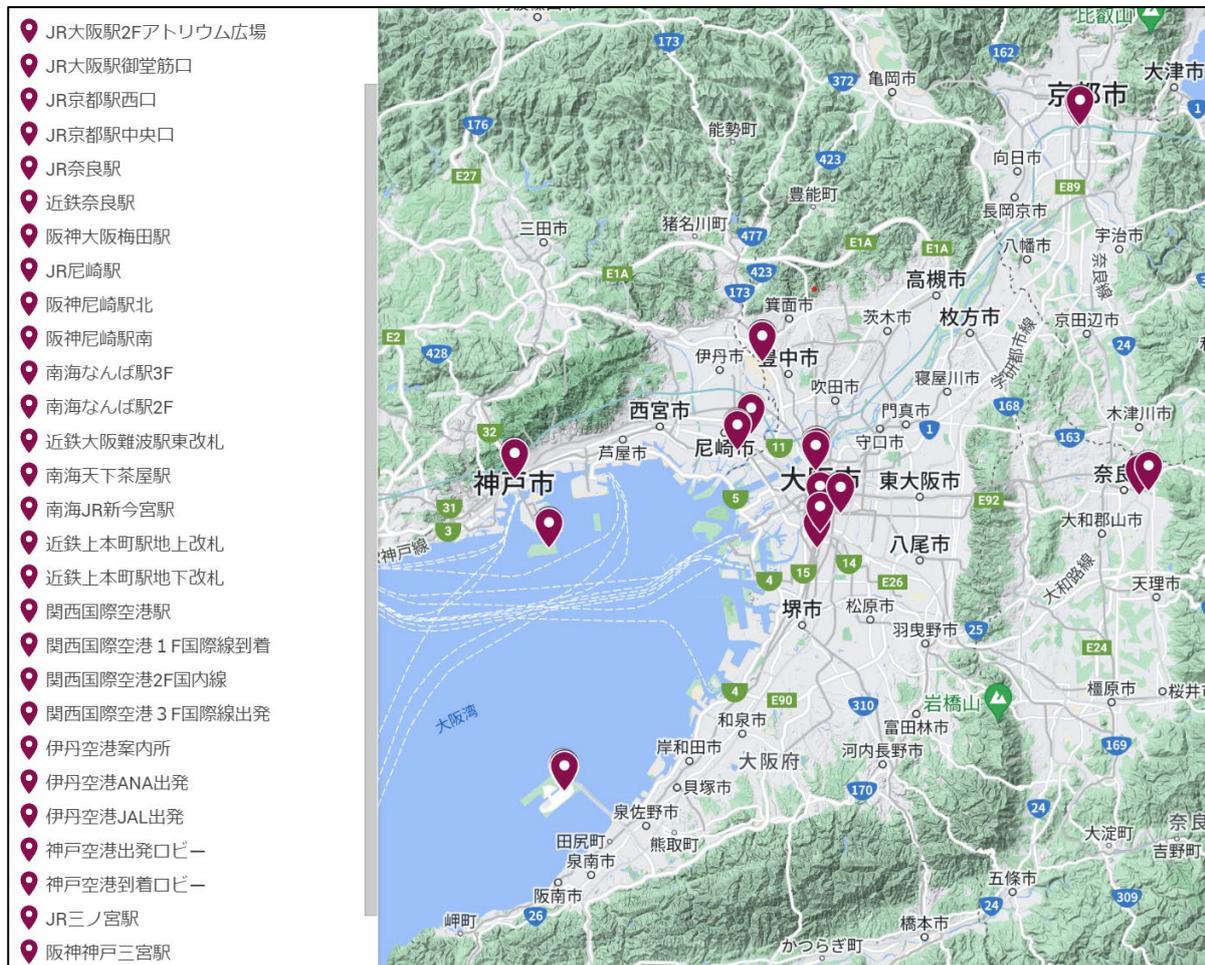


図 3-2 関西広域流動解析コンソーシアムにおいて運用するセンサ

3.3 広域流動解析のためのシステム連携

関西広域流動解析コンソーシアムに参加表明をした各機関の保有する Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサが取得するデータレコードを調査すると、1日の最大レコード数は1300万レコードを越えるデータ量である。このレコードには、MAC アドレスをランダム化したデータも含まれていることから、ランダム化フィルタによりこれらレコードを除去して解析対象データの圧縮化を行う必要がある。関西広域流動解析に参加する各機関はそれぞれ独立したサーバに自機関のデータを蓄積していることから、関西三空港のデータを蓄積しているサーバにおいても、サーバ負荷を低減するため、広域流動解析サーバとのインタラクション数を低減させる必要がある。そこでサーバ上の処理対象とするセンサのデータを抽出し、広域流動解析サーバに集約するにあたり、多段階でデータの読み込みを行うことで負荷低減を図ることとしている。

広域流動解析サーバ側では、読み込まれたデータは解析内容に従い必要なデータをメインメモリに転送し、高速に解析処理を実行する仕組みが構築されている。以上のような技術的な対応を行うことにより、円滑に関西三空港のデータを広域流動解析サーバに集約し、連携解析を実現させることに成功している。

4 関西三空港とターミナル間の流動分析

関西広域流動コンソーシアムに参画する企業や団体等は、関西広域流動解析基盤より得られるデータを活用することが可能であり、この解析結果を元に関西三空港と関西の主要ターミナル間の流動を分析しており、以下にその分析結果の一部を掲載する。

4.1 観測数推移

関西広域流動解析基盤において解析されたデータは、Web 画面上でダッシュボード（図 4-1）は、任意のタイミングで参照可能となっている。下図は関西国際空港駅の「訪問者数・住人数（日次）」画面であるが、2022 年 10 月の水際対策見直し以降からの増加傾向を顕著にみる事が出来る。

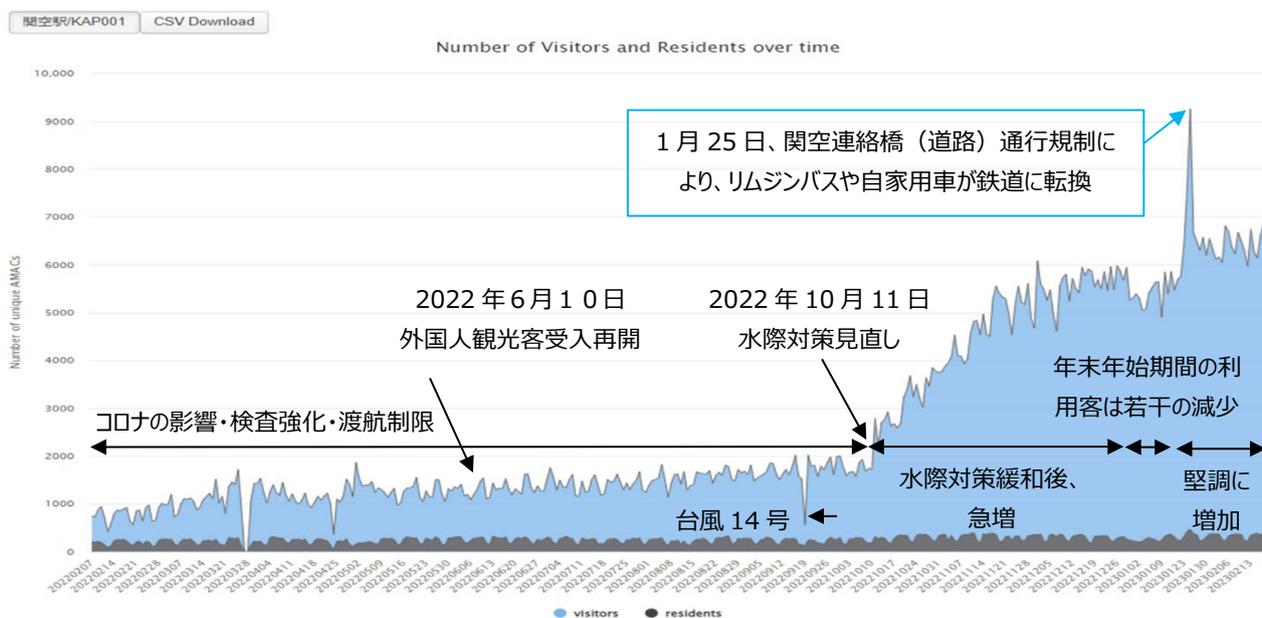


図 4-1 関西国際空港駅における推移

4.2 地点間流動量の変化

起終点（OD）解析結果を図化した弦グラフにより、今年（2023 年 2 月 2 日）と昨年（2022 年 3 月 19 日）を比較すると、関西空港（関西国際空港駅及び空港設置センサをグループ化したもの）の流動が大きく増加していることが分かる。※円弧の長さが各センサのセンサ間流動量を示す。

下図はセンサ別 OD 表から 2022 年 8 月 27 日（土）以降の土曜日のみ CSV データより抽出し、流出側の合計（域外を含む）を図化したものであるが、10 月以降で関西空港では顕著に増加している。神戸空港・伊丹空港でも増加傾向は見受けられるが、関西空港に比較すれば増加率は大きくはない。

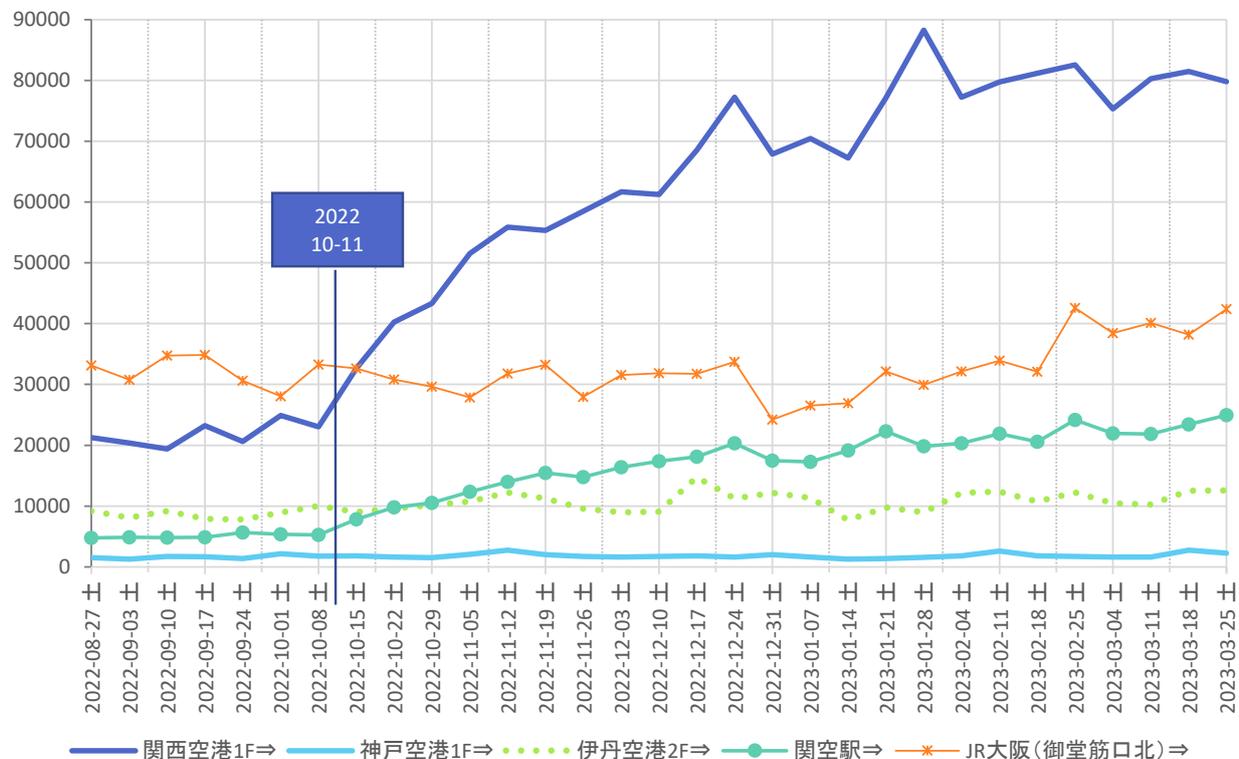


図 4-4 主要センサの流動量推移（8 月末～3 月末の土曜）

5 空港運営事業者への分析結果の還元

関西広域流動解析基盤による解析結果や、三空港設置センサの取得状況及び解析結果は、リアルタイムに可視化され WEB ダッシュボード（図 5-1）を通して提供される。加えて三空港に設置された全 9 台のセンサのデータについては、週次で生成される raw データからより詳細な分析を行うことも可能となっている。

それぞれのダッシュボードは 2023 年 3 月末時点で下図スクリーンショットの通り。右図が三空港用ダッシュボードとなるが、主に死活監視用の画面とデータダウンロード用のリンクで構成され、流動解析については左図の関西広域流動解析用ダッシュボードに集約される。



図 5-1 ダッシュボード TOP 画面

いくつかは昨年度に実装され報告済みのものも含まれるが、今年度新たに追加した画面も含め、それぞれの解析画面について以下より示す。

5.1 センサ稼働状況

センサから送られた直近 15 分間及びその更に前の 15 分間におけるパケット数、ならびに UID 数（ユニークな MAC アドレス数）、STTATUS（死活）情報を表示する。直近 15 分にデータがない場合には「センサー状況」が danger（黄色）、30 分なければ stop（赤色）の表示となる。

関西3空港				
項番	設置場所名称/センサーID	センサー状況	過去15分間のUID数(ランダムMACアドレス含む)/パケット数	15分前から30分前のUID数(ランダムMACアドレス含む)/パケット数
1	関空駅/001	normal	3604 / 4010	5049 / 5761
2	関空2F 国内発着/002	normal	6169 / 8266	9122 / 12036
3	伊丹2F 到着/003	normal	5262 / 5894	5113 / 5820
4	神戸1F 到着/004	normal	1039 / 1124	1126 / 1279
5	伊丹2F JAL発/005	normal	18 / 116	18 / 134
6	伊丹2F ANA発/006	normal	3642 / 4274	4300 / 5074
7	関空4F 国際発/007	normal	7283 / 9369	8913 / 11657
8	関空1F 国際着/008	normal	12102 / 16574	16335 / 22465
9	神戸2F 出発/009	normal	3627 / 4133	4054 / 4630

図 5-2 死活監視画面（ステータス一覧）

5.2 取得数推移

上記センサ稼働状況画面における 15 分毎の UID 数が推移グラフで表示され、1 日或いは指定期間分の状況を確認することが出来る（下図は指定期間での表示例）。

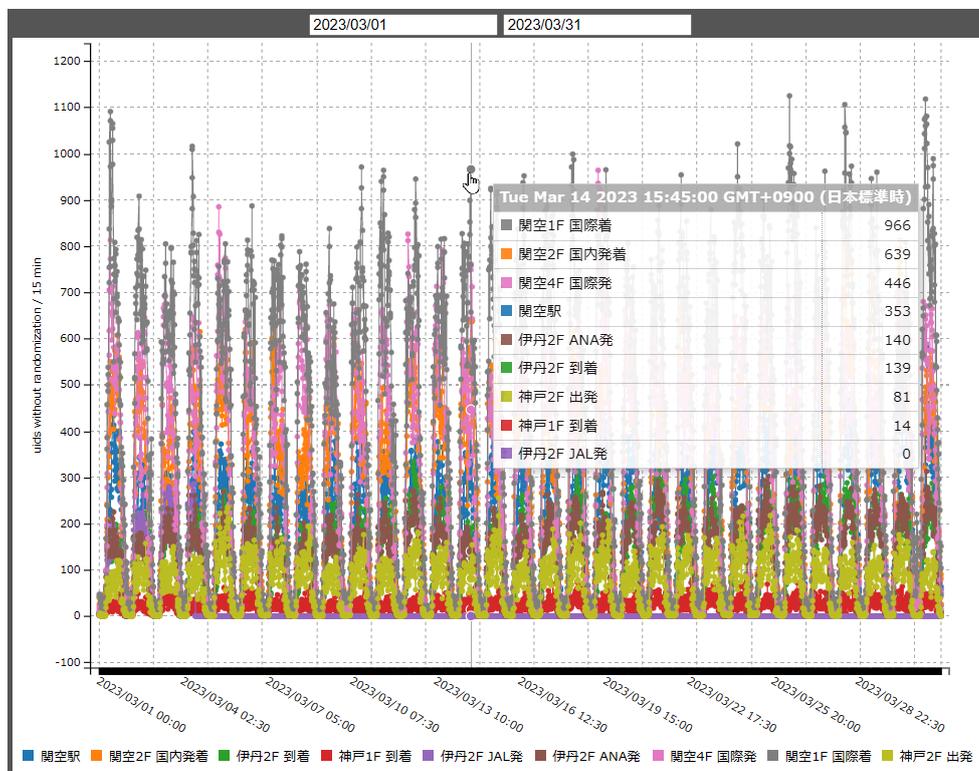


図 5-3 死活監視画面（モニタリング画面）

以下からは、広域流動解析コンソーシアムで共有される解析画面となる。そのため、対象となるセンサは関西三空港以外に、関西主要都市に設置したセンサが含まれる。

5.3 OD 表

日次の定期処理により、異なる 2 地点（エリア）に設置されたセンサで観測された対象 ID から OD 解析（Origin-Destination：起終点）を行った結果が表示される。前日までの任意の日を指定して OD 表の表示及び CSV データのダウンロードが可能であり、時間別で表示・ダウンロードも可能である。OD Table の表内の数字について、図中の赤枠であれば、2023 年 3 月 31 日（全日）で、伊丹空港（Origin）から関西空港（Destination）へと移動した流動をセンサで 1,824 件補足していたことを意味する。

OD Table

20230331 All CSVダウンロード

場所	All	伊丹空港	神戸空港	関西空港	JR京都駅	JR大阪駅	奈良	阪神尼崎駅	JR尼崎駅	南海なんば駅	近鉄大阪難波駅	近鉄大阪上本町駅	JR三ノ宮駅	阪神大阪梅田駅
伊丹空港	07:00	0	96	1824	586	1769	284	134	181	329	263	344	263	396
神戸空港	09:00	73	0	365	133	336	48	26	36	55	49	45	126	95
関西空港	10:00	1756	371	0	3016	7543	1219	650	850	1650	1191	1408	1048	169
JR京都駅	12:00	490	121	2546	0	2674	540	179	274	407	338	388	354	563
JR大阪駅	14:00	1342	251	5412	2617	0	833	452	842	1062	852	1074	1004	200
奈良	15:00	230	45	1028	554	1076	0	92	107	188	328	269	147	206
阪神尼崎駅	17:00	117	20	488	177	480	80	0	82	81	121	98	83	474
JR尼崎駅	18:00	226	57	970	414	1165	170	102	0	164	137	153	201	233

2023/03/31 09:00|場所: 伊丹空港, 神戸空港, 関西空港, JR 京都駅, JR 大阪駅, 奈良, 阪神尼崎駅, JR 尼崎駅, 南海なんば駅, 近鉄大阪難波駅, 近鉄大阪上本町駅, JR 三ノ宮駅, 阪神大阪梅田駅, 阪神神戸三宮駅, 域外, 合計

伊丹空港: 0, 15, 289, 70, 253, 49, 25, 23, 55, 36, 40, 38, 53, 43, 1730, 2719

神戸空港: 5, 0, 24, 12, 13, 2, 0, 2, 2, 0, 2, 4, 3, 345, 416

関西空港: 206, 34, 0, 280, 618, 116, 45, 66, 145, 89, 85, 95, 132, 101, 6723, 8735

JR 京都駅: 41, 6, 231, 0, 158, 46, 12, 15, 30, 21, 25, 21, 52, 20, 1999, 2677

JR 大阪駅: 107, 17, 416, 163, 0, 45, 19, 42, 78, 49, 58, 60, 98, 56, 4940, 6148

奈良: 25, 2, 64, 31, 68, 0, 5, 4, 9, 13, 8, 8, 14, 9, 926, 1186

阪神尼崎駅: 6, 2, 32, 9, 28, 3, 0, 4, 3, 7, 10, 3, 29, 14, 412, 562

JR 尼崎駅: 17, 4, 25, 22, 22, 12, 2, 14, 14, 2, 14, 15, 12, 122, 752

図 5-4 起終点解析結果画面（OD 表）と CSV

5.4 弦グラフ

出力された OD 表から Chord Diagram (弦グラフ) にて図化したもの。

Chord Diagram : 円周上に地点名が並び、弧長は観測総量、弦の太さが成立した OD 量であり、解析結果を示す実際の画面では、円弧や弦にカーソルを運ぶことでインタラクティブに動作し数値を確認することができる。

この図からは弧長から関西空港や JR 大阪駅、JR 京都駅での観測総量が多いことが確認でき、カーソルを伊丹空港に合わせているために、伊丹空港に対する OD 量がつながる弦で表現されている。伊丹空港と関西空港、JR 大阪、JR 京都の順に OD 量は多く、神戸空港への OD 量がわずかに少ないものの、おおむね他の地点については、同程度であることを読み取ることができる。

※OD 表と同様、前日までの任意の日を指定、また時間別の表示に切り替えも可能である。

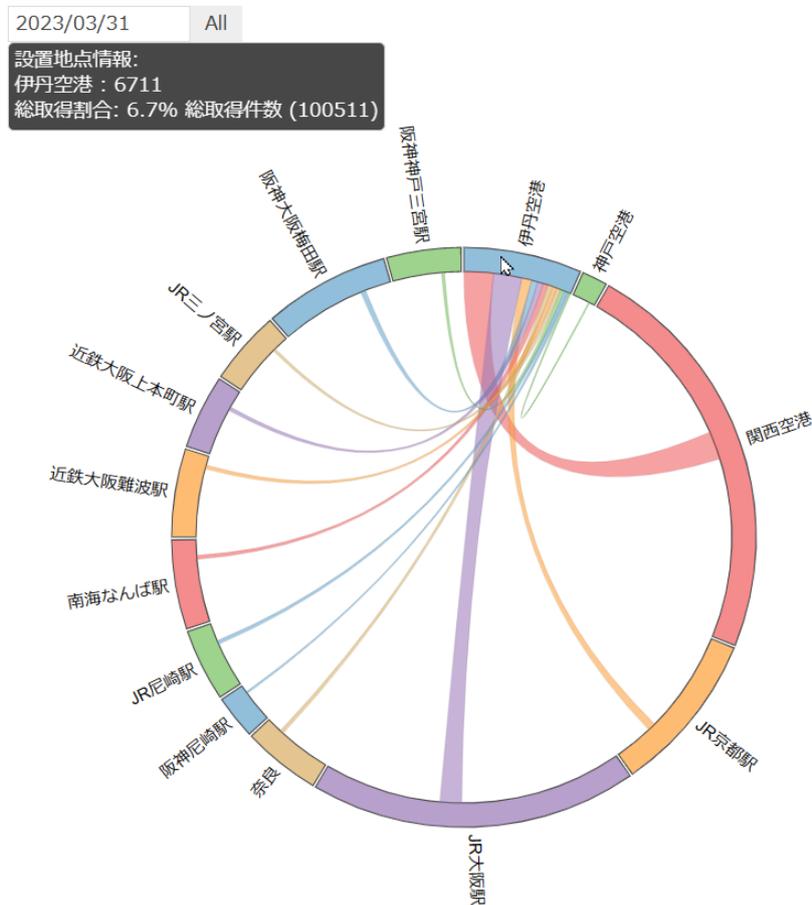


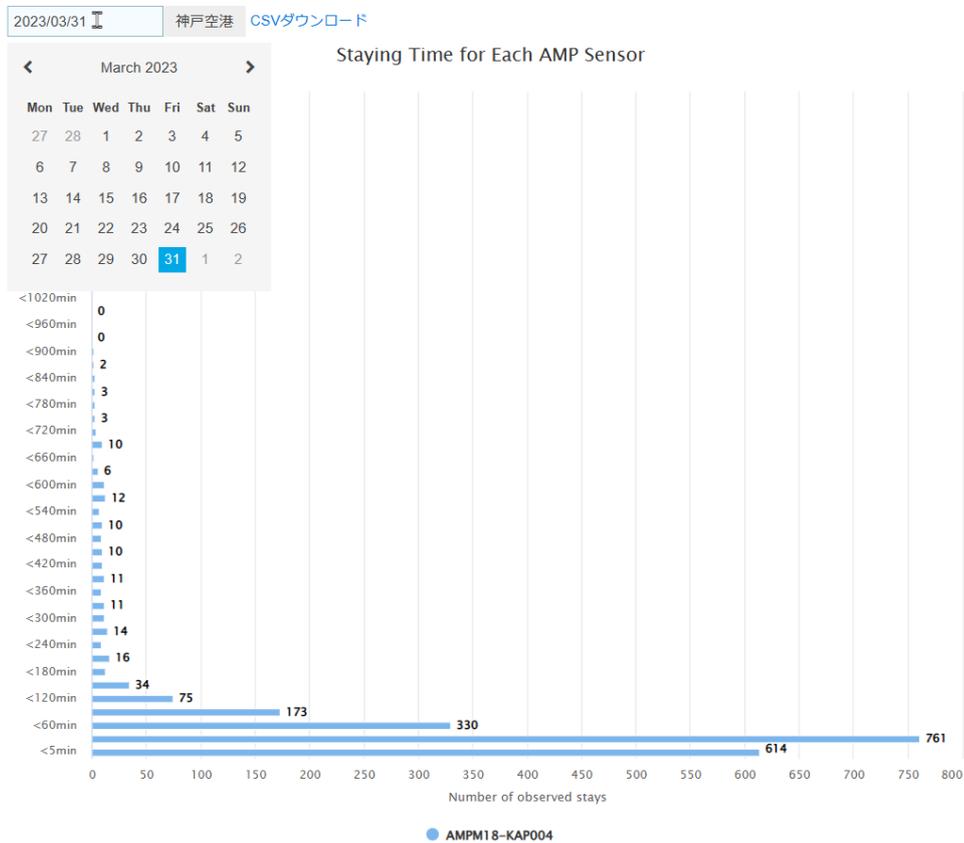
図 5-5 起終点解析結果画面 (Chord Diagram)

5.5 設置地点別の滞在時間

同一地点のセンサで1日に複数回の観測があった場合、最初と最後の観測時間の差を算出することで、滞留時間の解析を行うことができる。ただし例えば朝に観測された対象が、日中は別の場所へ移動した後、夜に再度観測された場合には1日中滞在していたことになるため、留意が必要である。また5分以下の滞在については通過者を含んだ数値となる。

30分単位24時間までの分布が表示され、前日までの任意の日付で各センサの滞在時間解析結果を参照できる。またCSVデータのダウンロードも可能となっており、エクセル等で詳細な分析も可能である。

数の神戸空港の2023年3月31日のケースでは、5分未満つまり単にセンサの前を通過の補足数が614件、5分以上30分未満の滞在が761件、30分以上60分未満の滞在が330件補足されていることを示している。



```
location, <5min, <30min, <60min, <90min, <120min, <150min, <180min, <210min, <240min, <270min, <300min, <330min, <360min, <390min, <420min, <450min, <480min, <510min, <540min, <570min, <600min, <630min, <660min, <690min, <720min, <750min, <780min, <810min, <840min, <870min, <900min, <930min, <960min, <990min, <1020min, <1050min, <1080min, <1110min, <1140min, <1170min, <1200min, <1230min, <1260min, <1290min, <1320min, <1350min, <1380min, <1410min, <1440min, >=1440min
伊丹空港
/003, 1899, 2543, 931, 484, 214, 136, 73, 66, 43, 56, 37, 41, 43, 29, 30, 30, 34, 33, 36, 34, 33, 23, 24, 13, 12, 18, 12, 11, 6, 12, 7, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 2, 0, 0, 5, 0, 1, 4, 0
神戸空港
/004, 614, 761, 330, 173, 75, 16, 14, 11, 11, 11, 10, 10, 0, 10, 7, 10, 11, 0, 0, 10, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0
```

図 5-6 滞留時間分布 (Staying Time)

5.6 設置地点別の前後地点間流動 (日次)

前述の Chord Diagram (弦グラフ) と同様に OD 解析結果から図化したものであるが、単純な地点間流動に加え更にその前後を 1 段階追加しており、且つ対象地点を中心に流動の前後を同時に描画している。

選択したセンサが図の中心となり、センサの左側が流入側、右側が流出側となる。それぞれ量の多い順に 5 地点までとなるが、流入・流出の一方が域外 (設置されたセンサで観測されていない) というパターンもあり、流入側と流出側の総量は必ずしも一致しない。

下図の場合は関西空港中心として、その前後はともに、JR 大阪駅、南海難波駅、JR 京都駅での補足されており、この 3 か所では鉄道もしくはバスで関西空港にダイレクトにアクセスできることが影響を加味した結果となっている。

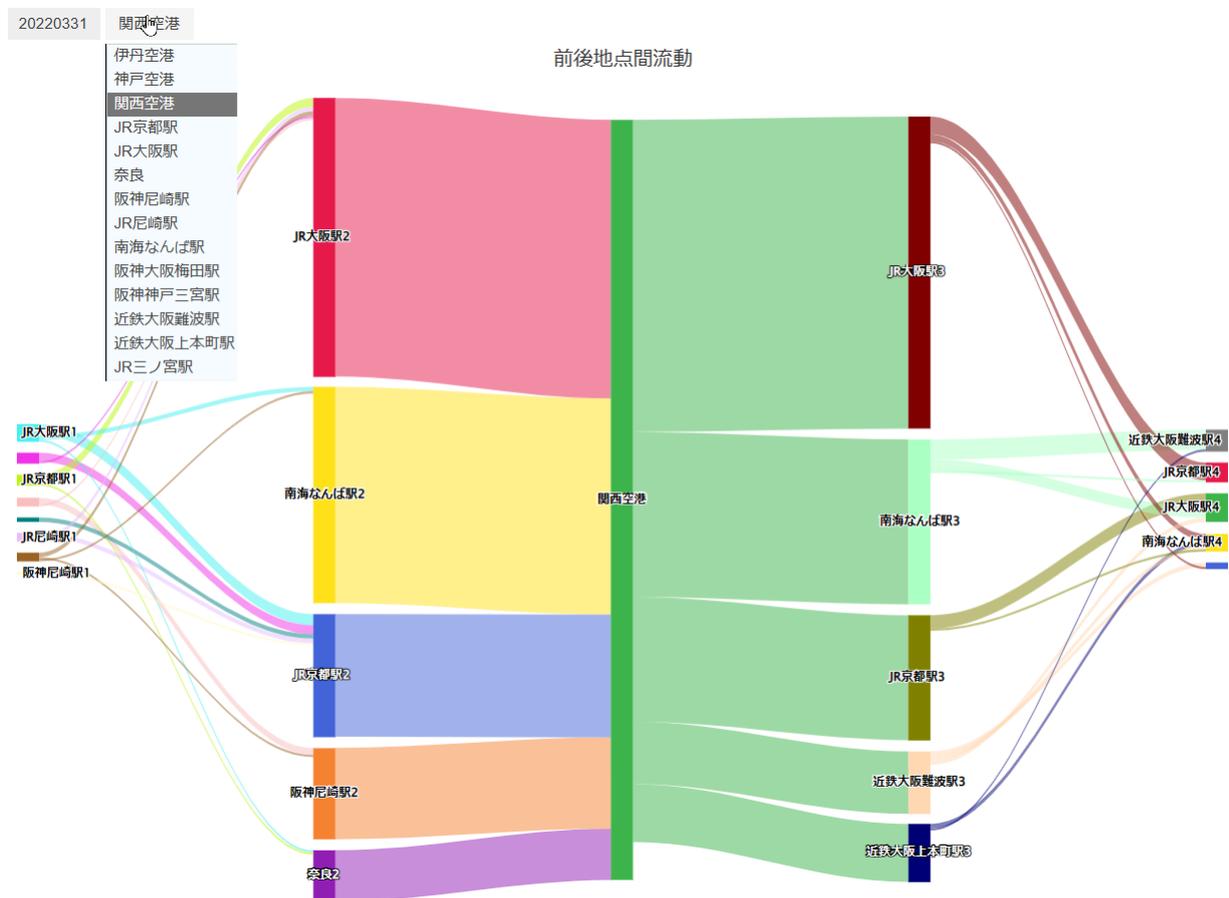


図 5-7 前後地点流動図 (Sankey Diagram)

5.7 訪問者数・住人数

下図は、取得したデータを1週間単位（月曜0時～日曜24時）で解析し、同一IDが週のうち3日以上観測された場合に residents（●住人＝関係者：図中で灰色部分）、それ以外を visitors（●訪問者：図中で水色部分）として判別のうえ、設置当初より1日単位で図化した画面となる。7月8日以降にデータ量が跳ね上がっているのは、AMACアドレスのランダムイズの影響であり、それに伴い、センサメンテも実施している。

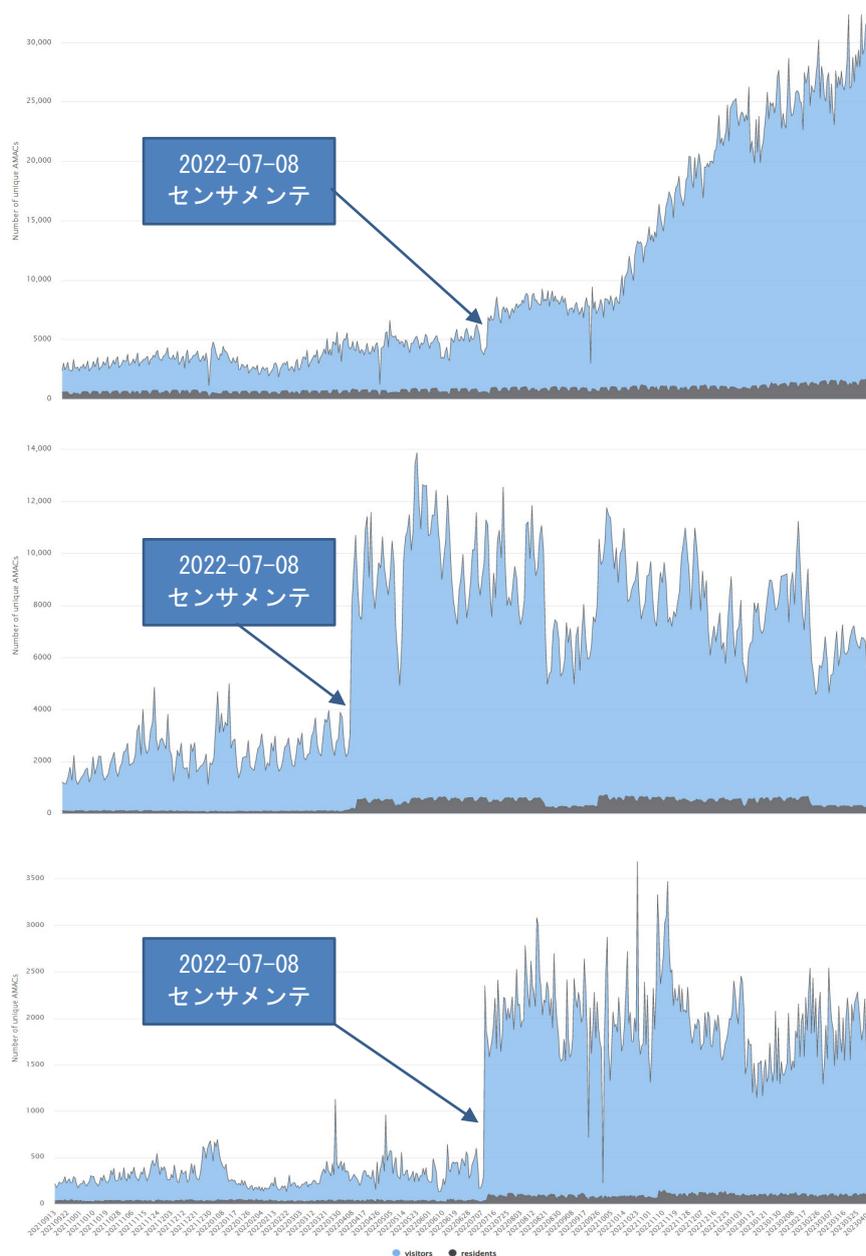


図 5-8 訪問者・住人数推移（上段：関空／中段：伊丹／下段：神戸）

以上は、広域流動を概観する為、近傍のセンサについてはグループ化のうえ可視化したものであるが、より詳細に把握するため各センサ別（非グループ化版）可視化画面についても今年度に追加で用意し、ダッシュボードから参照可能となっている。このうち OD 表及び弦グラフと訪問者数・住人数の推移グラフについては、グループ化された解析画面と同仕様であり割愛する。

5.8 地点間所要時間

起終点（OD）解析と同様に、2 地点で観測された同一 ID から地点間の移動に要した時間を算出することが可能であり、滞在時間と同様に図化したものが下図である。日付・発地センサ・着地センサを指定することで、該当する結果が表示され、CSV データをダウンロードすることも可能となっている。

下図の場合、センサを設置した関西空港 1F 国際線の到着でのセンサ補足から、JR 大阪駅のアトリウム広場でのセンサ補足までの時間を示しており、分布からは 2 時間以上 3 時間未満で補足量が急激に多くなっていることが確認でき、以降減少傾向にある。この結果からは関西空港から直接 JR 大阪駅のアトリウム広場へと移動をしているというよりも、途中異なる場所での滞在を経て到達している流動が多いことを示すものである。

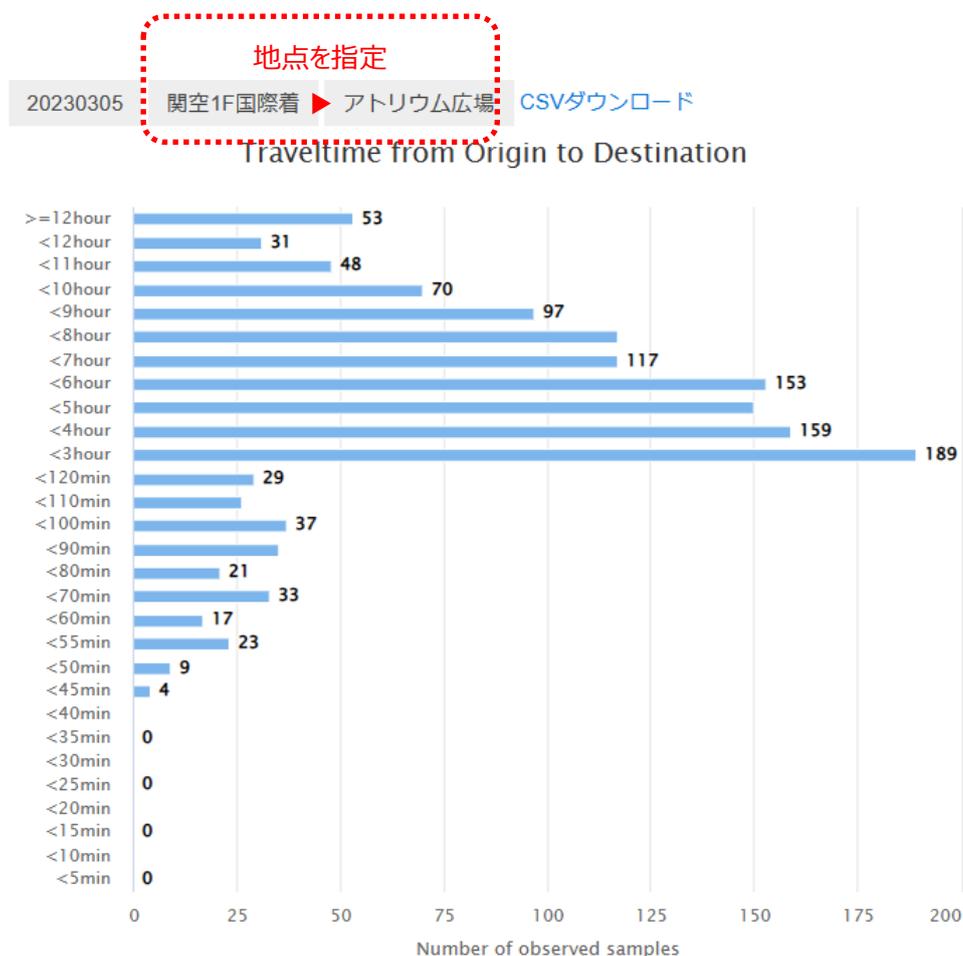


図 5-9 地点間所要時間

5.9 地点間所要時間 (日次・表形式・10%の平均)

前述の地点間所要時間解析結果から上位10%を抽出し、このうちの平均所要時間を算出(分単位)のうえOD表の形式で表示する画面が以下である。寄り道を考慮しない概ねの最短所要時間を概観することが出来る。

下表は開発中の数値を入れ込んでおり、表記に一部集計エラーが含まれている。現在のシステム上では、現実的に不可能な移動時間を事前に算出し、処理を行っている。

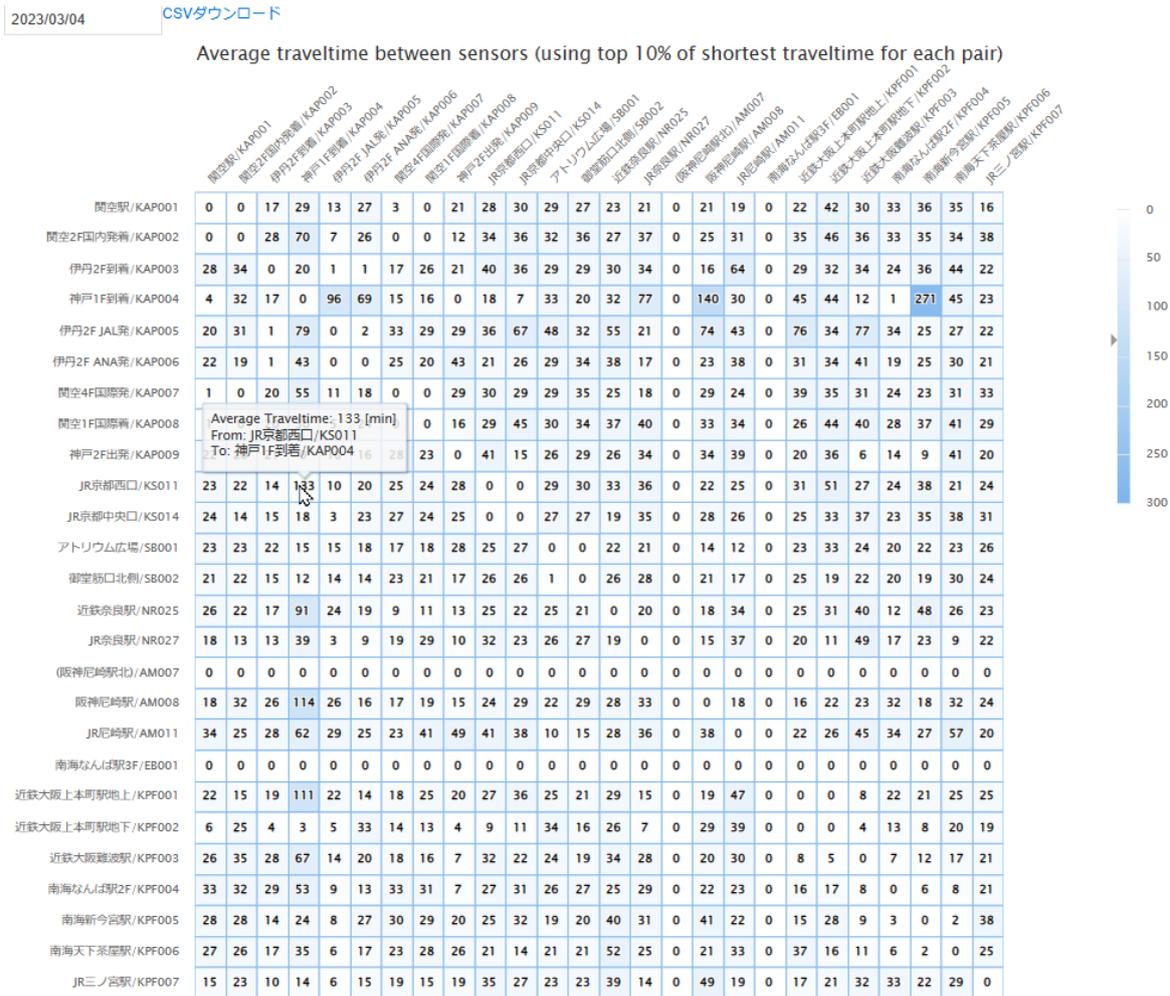


図 5-10 地点間所要時間

6 運用継続の検討

6.1 運用継続における計測主体（法的対応）

現在関西三空港に設置されているセンサは、本調査研究を行う目的で、東海国立大学機構名古屋大学が計測の主体となり運用が行われている。



図 6-1 現在の調査実施を示すステッカー

本調査研究は 2022 年度で終了する。2023 年度以降の計測継続を行うには、その後の計測主体を明確にしておく必要がある。この対応には、次の 3 つの選択肢が考えられる。

- (1) 名古屋大学等で構成される現在の組織がそのまま、計測主体となる方法
- (2) 各空港運営会社（関西エアポート等）が計測主体となる方法
- (3) 関西広域流動解析コンソーシアムにセンサを移管し、コンソーシアムが計測主体となる方法

計測の継続には、次節で示すセンサの年間維持費の負担や継続的にこの費用を捻出するための事業モデルの成立が条件となるため、センサの運用を継続することにより得られるメリットと費用負担の関係を明確にし、関係者による協議と合意を形成する必要がある。

6.2 運用継続に必要な費用

6.2.1 三空港設置センサの年間維持費の試算

2023年3月時点において、関西三空港に設置されているセンサの総数は9基である。このセンサの運用を継続するためには、センサ本体の維持管理費と、解析サーバの維持管理費が必要となる。これらの費用は、維持管理業務を実施している団体の積算によれば、以下の通りとなる。

センサ本体維持管理費：14万円×9台	126万円
解析サーバ維持管理費：5万円×9台	45万円
合 計	172万円
※ 関西国際空港 4基 76万円	
伊丹空港 3基	57万円
神戸空港 3基	38万円

6.2.2 運用継続のための事業モデル

三空港に設置された9台のセンサを維持管理するためには、年間172万円の費用が必要となるが、もしこの費用を空港運営会社で負担することができれば、センサから取得されるすべてのRAWデータを含めたデータ解析の権利は、空港運営会社が保有することができる。

関西三空港以外では、中部国際空港（セントレア）が空港内の人流計測のために、Wi-Fi パケットセンサの設置運用を行っている事例がある。

また福岡空港、熊本空港、成田空港の運営受託組織においても、Wi-Fi パケットセンサによる流動観測の検討が進められている。

なおデータ解析の権利を空港運営会社において維持・保有する必要がない場合は、これら9台のセンサを関西広域流動解析コンソーシアムに移管し、コンソーシアムがセンサの運営を行う方法がある。この場合は空港内の流動解析に関する様々なニーズに対応した詳細な分析を行うことはできないが、関西圏の主要ターミナル間の広域流動解析の結果が提供される。

コンソーシアムが運営を行う場合は、コンソーシアムは任意団体（権利能力なき社団）であることから、経営継続の担保性は高くはないため、コンソーシアムの活動終了とともに計測が終了する可能性がある。なおコンソーシアムに参加する団体は、2024年度より会費負担が発生する。

7 空港運営事業者へのヒアリング

7.1 新関西国際空港株式会社へのヒアリング

新関西国際空港株式会社は第3種鉄道事業者として、空港駅という資産を有するものの、鉄道事業の運営はJR西日本および南海電鉄である。また空港設備は新関西国際空港の資産であるが、運営は関西エアポートに譲渡しており、直接的なデータ活用は運営会社となる。その点で、資産施設に対して、利用者数に関して利用することはあるものの、関西広域での流動把握のニーズは決して高くはない。

一方で流動把握の仕組みについては、現状の大学および関西広域流動コンソーシアムが軸となり、体制を維持することを希望する。次年度以降の運用にあたり、費用が発生する点に関しては運営会社との相談が必要となる。

7.2 関西エアポート株式会社へのヒアリング

7.2.1 関西国際空港でのヒアリング

空港内には、混雑度を計測するためのシステムを導入（4階の天井にカメラを用いたフローマネジメントシステム）済みであり、2018年からデータを取得している。一定の費用を投入して導入・システム構築を行ったことから、今回のWi-Fiパケットセンサとの棲み分けは必要となる。例えば、空港内の全人流を観測するのであれば、より多くの台数のWi-Fiパケットセンサが必要となり、関西国際空港は、2026年まで改修工事が続くことから、直ちに人流を計測しても有効でない可能性も高く、継続的な検討が必要であるとのことであった。

現段階でCOVID-19前の4~5割まで、利用者数が戻ってきていることで、完全に戻ってきたときに動線を調べるには有効なシステムである一方で、現時点では時期尚早であり、空港運営自体の赤字が解消されておらず費用面に余裕がないとの意見も出された。

7.2.2 大阪国際空港でのヒアリング

大阪国際空港では、関西エアポート株式会社のうち、大阪国際空港、神戸空港の運營業務に関わる職員にヒアリングを行った。センサの運営主体を、どの部門とするのかは今後内部整理が必要である。今回のセンサ設置や運営に関して、社内的には担当部署がどこになるかが不確定で、内部部署間でどの部門で引き受けるかを検討する必要があるとのことであった。

神戸空港に関しては、店舗へ人がどのように流れているかを、現状のセンサで計測可能であれば有効であるが、まずもって、センサで何を計測したいかを明確にする必要があるとのことであった。一方で、関西広域流動コンソーシアムに、関西エアポート株式会社として、入会することで得られるメリット、費用対効果は見込めるのかについては、協議を進めるとのことであり、今後、大阪府、兵庫県など行政が関西広域流動コンソーシアムに入会することで、関西地域全体で盛り上げる、扱う都市をさらに増やしていくことで、関西エアポート株式会社として前向きな

検討ができ、和歌山、姫路など、もっと広域に多数設置していくのであれば入会を断る理由がなくなるといった意見もあった。

8 おわりに

8.1 まとめと課題

本調査研究助成では 2021 年度に関西三空港の到着側に設置した Wi-Fi パケットセンサに加えて、出発側の観測においてもリアルタイム観測が可能な環境の整備を行った。その結果として、各空港における時間帯別の利用客の推移や滞在時間の把握、空港利用者の長期傾向把握が可能となった。2020 年 1 月半ばに国内で最初に COVID-19 の感染が発生してから、私たちの生活は多くの移動制約を受け、人流把握の重要性が増す中で、Wi-Fi パケットセンサによる常時観測の環境整備により得られるデータ、さらに分析される人流動は大きな価値がある。さらにわが国では DX 化が産業界を中心に進められており、その貢献も期待される。

一方で、Wi-Fi パケットセンサのデータ処理は、MAC アドレスのランダム化以降、多くの研究者、事業者が手を引いているが、本調査研究ではそうした環境下においても OUI の性質を鑑みて、流動解析を行うことが可能な仕組みを構築している。さらに関西三空港の Wi-Fi パケットセンサを含めた関西広域流動コンソーシアムにより、都市内の主要地点や鉄道駅などに設置されているセンサとの連携、本来複数のセンサを用いた流動を捉えることができる。

関西広域流動解析コンソーシアムでは、関西圏の主要ターミナルと関西三空港の継続的な流動解析を続ける体制、およびその運営を実現しており、2025 年大阪・関西万博に向けて、更なる活用が期待される。

8.2 広域流動解析の持続的発展への期待と取り組み

広域流動解析を持続的に実施していくことは、今後のコロナ禍の終焉記における流動量の変化測定や、特に関西地域においては、関西・大阪万博等の大規模イベント時におけるターミナル間所要時間や流動量のリアルタイム把握を通じた効率的な交通運営の実現など具体的な利用イメージも想定される。一方で継続的運用には多大な費用が必要となり、その事業間での負担方法やデータを介在とするビジネスモデルの構築が早急に求められている。こうした広域流動基盤の整備・運用にはインシヤルコスト・ランニングコストが必要となるが、ひとつのソリューションとして、関西広域流動コンソーシアムが関西の関連する経済団体や自治体、国土交通省等の関連する機関と連携することが求められる。関西圏においては多様な主体間で連携することができた一方で、空港や鉄道駅のターミナルを中心に、より広い範囲で人流動はなされており、更なる大きな規模での流動解析ができる仕組みづくりが期待される。関西広域流動コンソーシアムのように、関東、中部など各地域でのデータ連携を行う仕組みを構成し、コンソーシアムを束ねる形で、オール日本で流動解析基盤へと拡張していきたい。